第37卷 第6期
2020年11月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 37 No. 6
Nov. 2020

关中区域大气重污染年份气象条件分析

胡 琳[1]， 程 路[1]， 林 扬[2]， 胡淑兰[1]， 何晓媛[1]

（1. 陕西省气候中心，陕西 西安 710014；2. 陕西省气象科学研究所，陕西 西安 710014）

摘 要：利用关中区域环境污染监测数据和同时期气象数据，定义了区域重污染和区域污染天气过程，选择2017年为代表年，采用帕斯奎尔分类方法和国标法计算大气稳定度等级和混合层高度，着重分析了区域污染天气过程中稳定度等级等5个表征大气扩散能力的气象参数特征，建立了关中区域各强度污染天气气象条件概念模型。研究结果表明：2014—2018年关中区域年平均污染日为145.4 d，不同强度的污染日数均呈增加趋势，秋冬季是关中区域污染的多发季节，特别是当大气混合层高度≤300 m，稳定类频率60%，累积逆温厚度≥260 m，静小风频率≥55%和关中腹地出现风辐合区时，极不利于污染物的扩散和清除，易造成区域重污染天气。

关键词：关中地区；区域污染；气象条件；概念模型；陕西

随着全球气候变化和城市化进程加快，颗粒物污染日趋严重，城市大气污染问题引起各国政府的高度重视。国内外学者针对大气污染展开了广泛深入的研究[1-6]。近年来，以西安为中心的关中城市群，大气环境质量严峻，大气污染事件多发重发，并和京、津、冀、郑州共发。针对关中城市群严重的大气污染现状，众多学者从不同角度进行了深入研究，陈建文等[7]和胡琳等[8]分别研究了陕西省混合层厚度的变化规律和陕西省多年来霾天气气候特征及变化规律，赵桂香、王珊、黄少妮等[9-11]分析了重污染过程大气环境特征及气象条件影响。本文综合利用关中区域城市气象观测资料及污染监测资料，分析不同气象条件和关中城市群重污染天气的关系，探讨重污染天气的成因与形成机制，建立气象概念模型，以期对大气污染精准治理和防治措施评估提供研究基础和技术支持。

1 资料与研究方法

1.1 研究区概况

陕西关中平原南依秦岭，北邻渭北台塬，西起宝鸡峡，东至潼关，长约300 km，海拔约323 ~ 800 m。关中城市群为陕西省人口最密集地区，是华夏文明重要发祥地，是古丝绸之路的起点，是我国西部地区唯一的高新技术产业开发带和星火科技产业带，在国家现代化建设大局和全方位开放格局中具有独特战略地位。

1.2 数据与方法

1.2.1 *数据来源* 选取关中平原12个分布均匀的代表性气象站(基本站、基准站)2014—2018年逐时气温、风向、风速、云量等气象观测资料(图1)、同期泾河站探空观测数据及关中5市环境监测数据日$PM_{2.5}$和PM_{10}浓度数据。气象数据来源陕西省气象信息中心，污染物浓度数据来自国家环境监测总站，以上数据均经过质量控制，准确可靠。

1.2.2 *研究方法* ① 重污染年份的确定，定义区域污染日为关中5市有3个及以上城市出现污染，区域重污染日为3个及以上城市出现中度及以上污染。选取2014—2018年关中5市有$PM_{2.5}$监测以来的各市污染指数(AQI)，分别对关中地区5地市进行分析(表1)。2017年区域污染日共计178 d，区域重污染日62 d，污染日数为5 a之最，重污染日也属偏多年份。因此，选择2017年为重污染年，2017年污染日是本文的研究重点。

② 气象因子的选取，污染物的排放是造成大气污染的主要诱因，但大气污染源在短时间内的变

收稿日期：2020-01-14； **修订日期：**2020-05-18
基金项目：中国气象局气候变化专项(CCSF201938)资助
作者简介：胡琳(1975-)，女，高级工程师，主要从事环境气象及气候服务方面的研究. E-mail: hllinbb@126.com
通讯作者：程路. E-mail: croad128@139.com

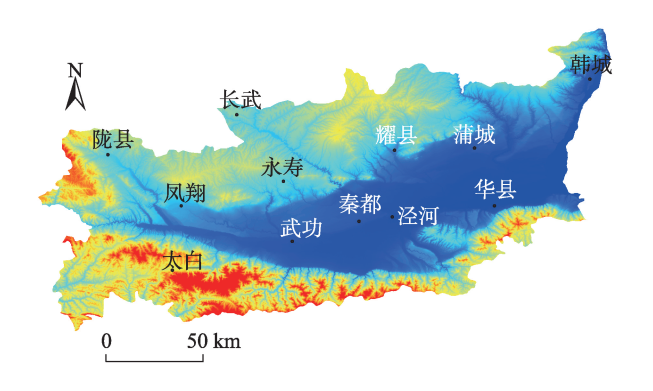


图1　代表性气象观测站点分布示意图

Fig. 1　Distribution of representative meteorological observation stations

表1　2014—2018年关中区域污染日数

Tab. 1　Pollution days in Guanzhong Region from 2014 to 2018　/d

年份	区域污染日数	区域重污染日数
2014	140	58
2015	84	30
2016	174	67
2017	178	62
2018	151	46

化一般不大,因此,不利扩散的气象条件及其持续时间是大气污染的触发因子[12-13],气象条件对大气污染物的输送、扩散、二次转化,乃至重污染事件的发生都具有关键性作用[14],导致大气重污染事件发生的气象条件也可以看作是一种极端不利于污染物清除的气象条件。本文选取逆温层厚度、逆温强度、混合层高度、大气稳定度等级、风向、风速等因子来表征大气扩散能力,选取降水表征大气湿清除能力。其中大气稳定度采用Pasquill分类方法把稳定度分为强不稳定A类、不稳定B类、弱不稳定C类、中性D类、较稳定E类和稳定F类6级(表2～表3),混合层高度采用国标法(GB/T 13201—1991)环境影响评价技术导则中推荐的混合层高度计算方法(式1～式3)。

当大气稳定度为A、B、C、D类时,a_s分别为0.073、0.060、0.041、0.019

$$L_b = a_s u_{10} / f \tag{1}$$

大气稳定度为E、F类时,s_b分别为1.66、0.70

$$L_b = b_s \left(u_{10} / f \right)^2 \tag{2}$$

$$f = 2\Omega \sin\phi \tag{3}$$

表2　太阳辐射等级

Tab. 2　Grade of solar radiation

云量(1/10)	太阳辐射等级数				
总云, 低云	夜间	$h_0 \leqslant 15°$	$15° < h_0 \leqslant 35°$	$35° < h_0 \leqslant 65°$	$h_0 > 65°$
⩽4, ⩽4	−2	−1	+1	−2	+3
5−7, ⩽4	−1	0	+1	−2	+3
⩾8, ⩽4	−1	0	0	−1	+1
⩾5, 5−7	0	0	0	0	+1
⩾8, ⩾8	0	0	0	0	0

注:h_0为太阳高度角,$h_0 = \arcsin[\sin\varphi \sin\sigma + \cos\varphi \cos\sigma(15t + \lambda - 300)]$;$\varphi$为当地纬度,deg;$\lambda$为当地经度,deg;$t$为进行观测时的北京时间;$\sigma$为太阳倾角,$\sigma = [0.006918 - 0.39912\cos\theta_0 + 0.070257\sin\theta_0 - 0.006758\cos 2\theta_0 + 0.000907\sin 2\theta_0 - 0.002697\cos 3\theta_0 + 0.001480\sin 3\theta_0]180/\pi$;$\theta_0 = (360 d_n)/365$,deg;$d_n$为一年中日期序数。

表3　大气稳定度等级

Tab. 3　Grade of atmospheric stability

地面风速/($m \cdot s^{-1}$)	太阳辐射等级					
	+3	+2	+1	0	−1	−2
⩽1.9	A	A−B	B	D	E	F
2～2.9	A−B	B	C	D	E	F
3～4.9	B	B−C	C	D	D	E
5～5.9	C	C−D	D	D	D	D
⩾6	D	D	D	D	D	D

式中：L_b 为混合层高度，m；u_{10} 为10 m高度处平均风速，m·s^{-1}；大于6 m·s^{-1}时，取为6 m·s^{-1}；f 为地转参数；Ω 为地转角速度，$\Omega=7.29\times10^{-5}$ rad·s^{-1}；ϕ 为地理纬度，deg。

2 重污染天气的基本特征

由图2可以看出，近5 a关中区域年平均污染日为145.4 d，最多出现在2017年，最少出现在2015年。近5 a污染日和重污染日数有明显的增加趋势(图2)。由图3可以看出，各级污染日数分布趋势一致，均呈秋冬季多夏季少的特征，其中1月和12月最多，9月最少。分析近年来关中地区污染日变化的主要原因，一方面是由于冬季采暖，污染排放量增大，造成环境空气质量超标；另一方面，随着气候变暖，秋冬季影响关中地区的冷空气活动次数明显减少，静小风出现频率增加，造成大气扩散能力显著下降，可能是造成近年关中地区污染日数增多的主要原因之一，但由于政府持续加大调控措施力度，中度以上区域污染有所减少。

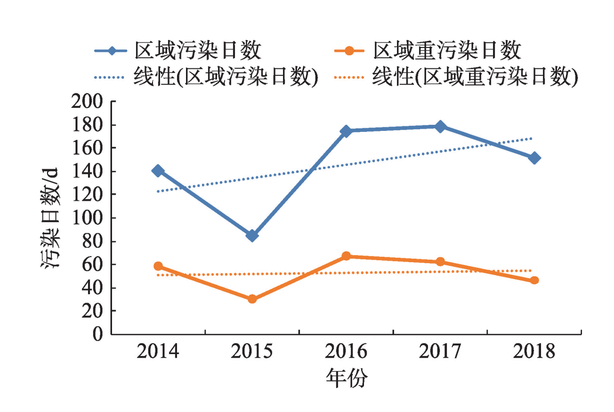


图2 2014—2018年区域污染日年变化趋势

Fig. 2 Annual trend of regional pollution days from 2014 to 2018 in Guanzhong area

3 重污染天气的气象条件与指标分析

已有研究[15-16]表明：导致大气重污染事件发生的气象条件也可以看作是一种极端不利于污染物清除的气象条件。本文采用代表年2017年逐时气象资料，依据关中的气候特征，将每年9月至次年2月定义为秋冬季。根据相关研究结论，选取混合层高度、大气稳定度、逆温强度、逆温厚度、相对湿度、降水、风向和风速等气象因子，统计分析了秋冬季不同强度污染情况下关中出现区域性污染的气象条件及大气扩散条件的差异，提取相关指标，建立大气污染扩散气象条件概念模型。

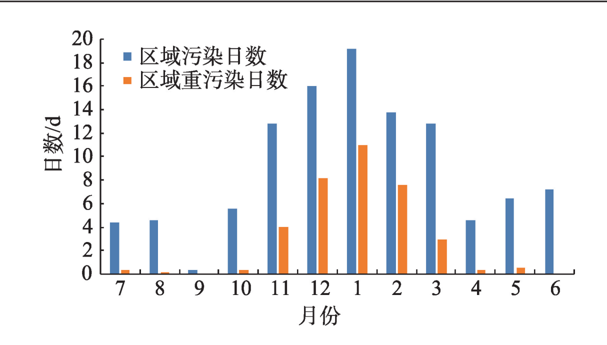


图3 2014—2018年区域污染日逐月变化

Fig. 3 Monthly variation of regional pollution days from 2014 to 2018 in Guanzhong area

3.1 混合层高度(H)

关中地区的区域污染主要出现在秋冬季。通过分析发现，出现污染时大气垂直扩散能力较差，混合层厚度较小，区域污染或区域重污染日均为混合层高度在50 m<H≤300 m之间的占比最大，其中无区域污染时平均混合层厚度最大，为520 mm，区域污染日的平均混合层厚度为500 m，区域重污染日的平均混合层厚度最小仅380 m，较低混合层厚度的占比随着区域污染强度增加依次增加(表4)。

当出现区域污染时，对应的H≤50 m的占比在2.6%，100 m<H≤200 m的占比最大，为21.1%，其次为200 m<H≤300 m占比为19.3%；对于区域重污染来说，H≤50 m的占比为3%，混合层高度50 m<H≤100 m的占比为18.4%，混合层高度在100 m<H≤300 m之间的占比为45.7%，约70%区域重污染对应的H≤300 m。

3.2 大气稳定度等级

从图4可以看出：无区域污染、区域污染和区域重污染3种情况下均为不稳定类(A～C)较少，稳定类(E～F)较多。其中稳定度A类出现较少，区域重污染日未出现A类稳定度。值得关注的是，各种情境下稳定类频率差异显著，未出现区域污染日的稳定类频率明显偏低约40%左右，而区域污染和区域重污染稳定类频率依次升高，出现区域污染时稳定类频率达50%以上，出现区域重污染时稳定类频率高达近60%。

3.3 逆温

利用2014—2018年泾河气象站探空资料，计算

表4　出现区域污染时混合层高度指标统计

Tab. 4　Statistical mixing layer height indexof regional air pollution in Guanzhong

混合层高度/m	无区域污染日频率/%	区域污染日频率/%	区域重污染日频率/%
≤50	2.2	2.6	3
50<H≤100	10.1	14.8	18.4
100<H≤200	20.2	21.1	25.1
200<H≤300	20.8	19.3	20.6
300<H≤500	11.3	9.3	9.2
500<H≤1000	17.5	13.8	12
1000<H≤1500	11.9	12.1	9
>1500	6.1	6.9	2.9

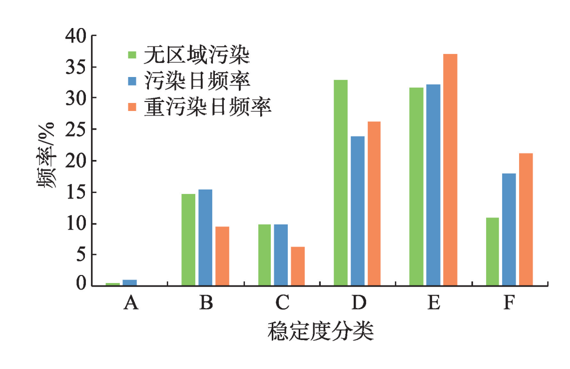


图4　出现区域污染时大气稳定度频率

Fig. 4　Statistical atmospheric stability index of regional air pollution in Guanzhong

了接地逆温强度、接地逆温厚度、累积逆温厚度,分析了不同程度污染与其对应关系(表5),可以看出,区域重污染时对应接地逆温出现频率近90%,1500 m以下低空最大累积逆温厚度990 m,平均累积逆温厚度80%保证率260 m,最大逆温强度10.8 ℃·(100 m)$^{-1}$;区域污染和无区域污染对应接地逆温出现频率分别为72.6%和58.1%,平均累积逆温厚度80%保证率分别为190 m和50 m,最大逆温强度分别为8.7 ℃·(100m)$^{-1}$和7.7 ℃·(100m)$^{-1}$,较区域重污染日依次降低。研究结果表明逆温严重抑制了污染物的垂直扩散,使污染物堆积效应进一步增强,逆温是造成区域污染的重要因子[17-19],与相关研究结论一致。泾河探空数据表明,接地逆温出现频率越高,累积逆温越厚,逆温强度越强,对应区域污染的强度就越强。

3.4　相对湿度(*RH*)

水汽条件是形成雾霾的关键因素之一,对比分析2017年秋冬季关中地区平均相对湿度和$PM_{2.5}$浓度可以发现,两者呈明显的正相关,相对湿度越高颗粒物浓度越高(表6)。当相对湿度>50%时,出现区域颗粒物重污染的频率达80%以上,出现区域颗粒物污染的频率约70%左右,相对湿度<30%时不出现区域颗粒物污染。可能由于近地层空气越接近饱和,吸附大气中尘埃、污染物等粒子能力越强,加速污染物的化学转化,导致污染物浓度明显升高,造成关中持续的雾霾和大气颗粒物污染。

3.5　降水(*R*)

降水亦是影响大气污染物浓度的主要气象要素之一,其主要影响大气污染物的湿清除过程[20],如表7所示,当有降水出现时,出现区域重污染的比例为1.0%,出现区域重污染的比例为18.8%,不出现区域污染的比例约为80.2%。

进一步分析不同等级降水量对污染的清除作用(表8),出现降水但未达到2 mm以上有效降水(R)(0.1 mm ≤R < 2 mm)时出现区域污染的比例为28.9%,出现中雨以下有效降水(10 mm ≤R < 25 mm)时区域污染的比例为14.3%,中雨以上降水(R ≥25

表5　出现区域污染时逆温指标统计

Tab. 5　Inversion index statistics of regional air pollution in Guanzhong

逆温	区域重污染	区域污染	无区域污染
日平均累积逆温厚度/m	345.4	246.1	160.4
平均累积逆温厚度80%保证率/m	260.0	190.0	50.0
接地逆温频率/%	89.3	72.6	58.1

表6 相对湿度对污染物的影响统计

Tab. 6 Relative humidity influence statistics of regional air pollution in Guanzhong

相对湿度/%	无区域污染	区域污染	区域重污染
$RH \geq 70$	20.1	32.2	33.3
$50 \leq RH < 70$	32.0	39.0	50.0
$30 \leq RH < 50$	43.2	28.8	16.7
$RH < 30$	4.7	0.0	0.0

表7 降水对污染物的影响统计

Tab. 7 Precipitation influence statistics of regional air pollution in Guanzhong

出现降水时污染类别	区域重污染	区域污染	无区域污染
污染频率/%	1	18.8	80.2

表8 不同等级降水对污染物的影响统计

Tab. 8 Influence of different levels of precipitation on pollutant in Guanzhong

降水量等级/mm	不同降水量等级污染频率/%
$0.1 \leq R < 2$	28.9
$10 \leq R < 25$	14.3
$R \geq 25$	12.2

mm)出现区域污染的比例约为12.2%,可见随着降水量的增加区域污染日频率下降,降水对污染的清除作用显著。

3.6 静小风

从图5可以看出,不同强度污染日频率在静小风(≤1.5 m·s^{-1})段,随着污染强度的增加依次增加。在较大风速(>1.5 m·s^{-1})段,随着污染强度的增加依次减小。其中,区域重污染日静风段频率为6.9%,小风(≤1.5 m·s^{-1})段,频率近55%,明显高于不出现区域污染静小风频率;相应的不出现区域污染是较大风速段频率明显高于区域污染和区域重污染。

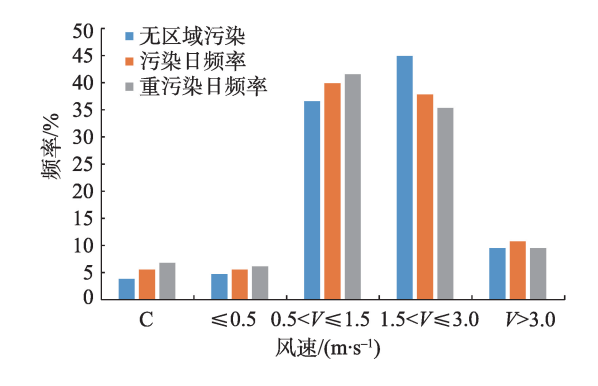


图5 出现区域污染时风速段频率

Fig. 5 Statistical wind speed frequencyof regional air pollution in Guanzhong

进一步总结可以得出:当静小风频率高于50%时易出现区域污染,静小风频率高于55%时易出现区域重污染,也进一步验证了风速越小,大气的扩散能力越弱,易造成近地层污染物的堆积造成环境空气污染。

3.7 风向

风向是影响污染物浓度分布的另一主要因素,主导风向的变化能够反映出天气系统的演变。关中盆地东西狭长,南北较窄,北边是黄土高原,南边是秦岭山脉,呈喇叭口地形特征,沿喇叭口逆向吹风,易造成大气污染物在关中盆地的堆积。

关中盆地近地层(1500 m至地面)盛行东风和东北风,从图6和图7可以看出,区域重污染时关中区域12个指标站主导风向的分布特征显著,关中西部以偏西北风为主,关中东部和关中腹地以偏东北风较为常见,北部台塬为偏北风,在秦岭的阻挡下,秦岭山地主要为偏南风,因此易在关中腹地形成气旋辐合或切变辐合,造成污染物循环累积,这是导致关中区域出现区域重度污染过程的主要原因。对比各强度区域污染发现各站主导风向频率随污染强度的降低依次减少,辐合减弱,辐合频率降低。

4 区域污染气象条件概念模型

本文研究仅单纯讨论气象条件的变化及其在关中城市群大气重污染事件发生和发展过程中所起的作用,在对上述6个气象因子总结的基础上,建立相对污染排放量具有独立性的大气重污染气象条件判别指标,总结关中区域不同程度污染天气气象条件概念模型(图8),探讨大气污染机理问题,以期能够对后期总结出大气污染预测模型提供研究基础和技术支持,为大气污染精准治理、对大气环境防治措施评估提供依据。

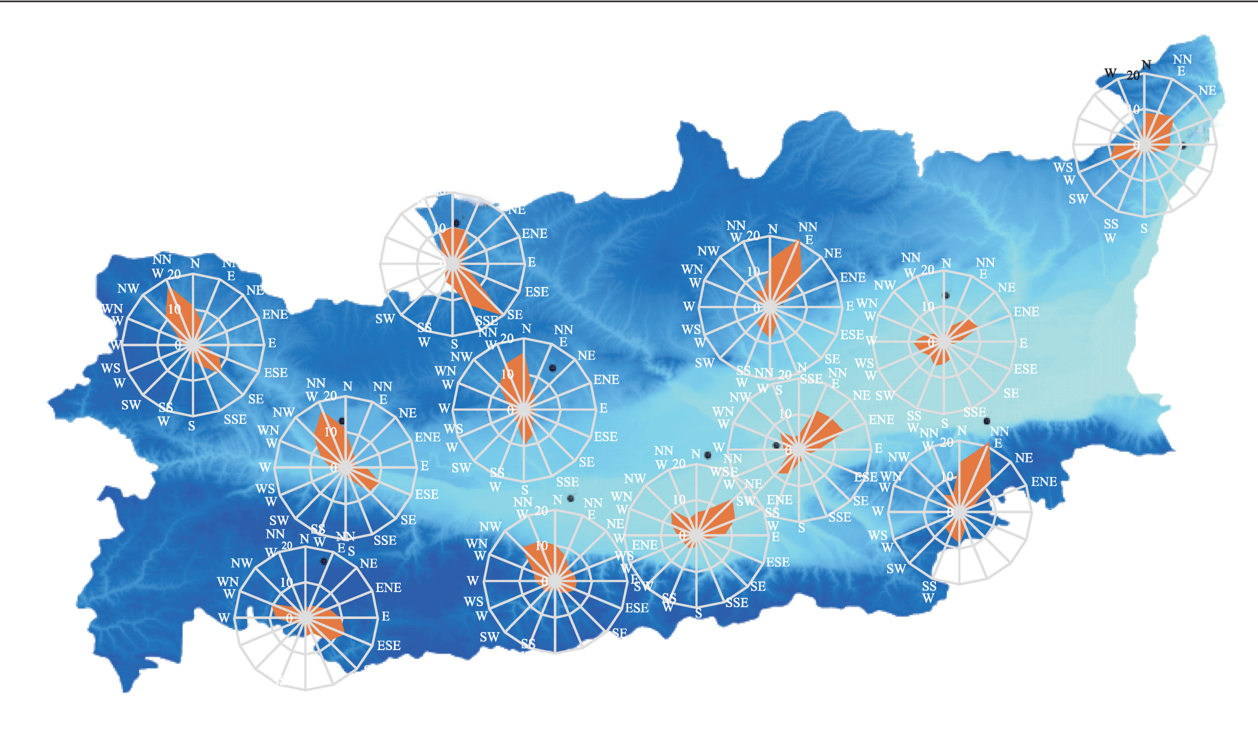


图6　出现区域污染时各站风向频率玫瑰图

Fig. 6　Wind rose of each station with regional air pollution in Guanzhong

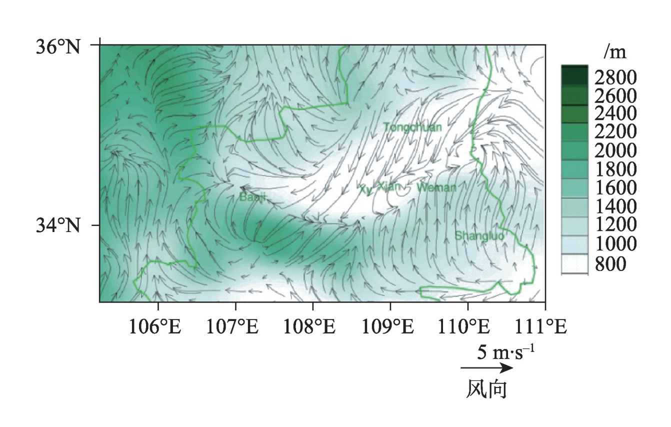


图7　关中区域重污染天(2017-01-04 21:00时)30 m高度风场分布

Fig. 7　Wind field of regional heavy pollutionday(2017-01-04 21:00:00) in Guanzhong

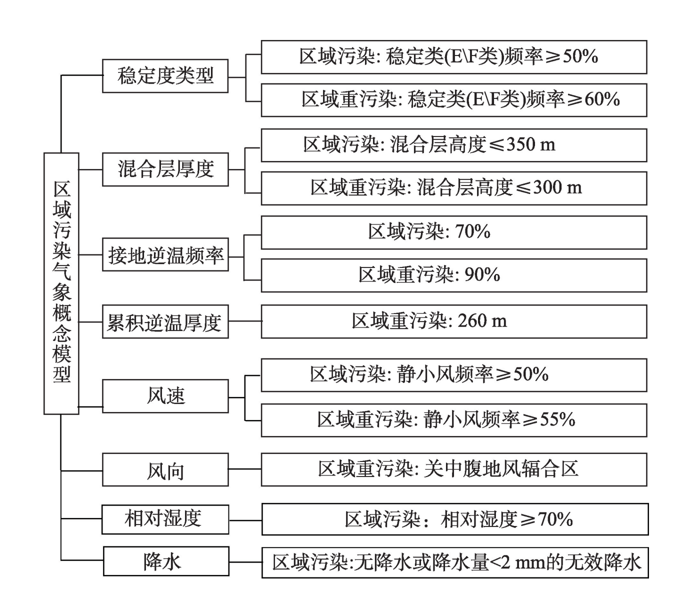


图8　关中区域污染气象条件概念模型

Fig. 8　Conceptual model of regional air pollution meteorological conditions in Guanzhong

5　结论与讨论

本文利用关中区域环境污染监测数据和同时期气象数据,定义了区域重污染和区域污染天气过程,并着重分析了区域不同强度污染天气过程中气象要素的主要特征,建立了关中区域不同程度污染天气气象条件概念模型,总结得到如下结论:

(1) 2014—2018年关中区域年平均污染日为145.4 d,污染日和重污染日数有明显的增加趋势,各级污染日数均呈秋冬季多夏季少的分布特征。

(2) 关中地区的区域污染主要出现在秋冬季,混合层高度越低,出现区域污染和区域重污染的可能性越大,其中出现区域重污染时,约70%区域重污染对应的大气混合层高度≤300 m。

(3) 关中区域秋冬季稳定度以稳定类(E～F)最多,区域不同污染强度稳定类频率差异显著,未出现区域污染日的稳定类频率明显偏低约40%左

右，而区域污染和区域重污染稳定类频率依次升高，出现区域重污染时稳定类频率高达近60%。

（4）关中区域污染强度随逆温指标的增加而增大，其中区域重污染时接地逆温出现频率近90%，1500 m以下低空最大累积逆温厚度990 m，平均累积逆温厚度80%保证率260 m，最大逆温强度10.8 ℃·(100 m)$^{-1}$。

（5）关中区域不同强度污染日频率在静小风段随着污染强度的增加依次增加，在较大风速段随着污染强度的增加依次减小，当静小风频率高于50%时易出现区域污染。

（6）关中特殊的地形条件是易造成区域重度污染过程。关中盆地常年沿喇叭口逆向吹风，不利于污染物的扩散，另外关中西部以偏西北风为主，关中东部和关中腹地以偏东北风较为常见，在秦岭的阻挡下，秦岭山地主要为偏南风，因此易在关中腹地形成气旋辐合或切变辐合，造成污染物循环累积，这是导致关中区域出现区域重度污染过程的主要原因。

另外值得注意的是，本文仅讨论了气象因子对区域污染的影响建立了相关指标体系，能够反映出不利于大气污染物清除的气象背景，适用于关中地区，在地域上具有一定局限性，但随着大气重污染治理力度加大，可以应用该指标评估治理措施的效果，并且依据该指标建立大气扩散条件预测模型，开展区域污染气象条件的预报预测工作，为进一步实施大气环境规划和环境治理和推进大气污染联防联控工作提供科学依据。

参考文献（References）：

[1] Duan F K, Liu X D, Yu T, et al. Identification and estimate of biomass burning contribution to the urban aerosol organic carbon concentrations in Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(9): 1275–1282.

[2] Wang F, Chen D S, Cheng S Y, et al. Identification of regional atmospheric PM10 transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis[J]. Environmental Modelling and Software, 2010, 25(8): 927–934.

[3] 蒋伊蓉, 朱蓉, 朱克云, 等. 京津冀地区重污染天气过程的污染气象条件模拟研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(9): 2681–2692. [Jiang Yirong, Zhu Rong, Zhu Keyun, et al. Numerical simulation on the air pollution potential in the severe air pollution episodes in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(9): 2681–2692.]

[4] 张强. 兰州大气污染物浓度与局地气候环境因子的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, 39(1): 39–106. [Zhang Qiang, A study of the interaction between concentration of pollutants and the climatic and environmental factors of Lanzhou[J]. Journal of Lanzhou University(Nature Sciences Edition), 2003, 39(1): 39–106.]

[5] 刘俊, 安兴琴, 朱彤, 等. 京津冀及周边减排对北京市$PM_{2.5}$浓度下降评估研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(11): 2726–2733. [Liu Jun, An Xingqin, Zhu Tong, et al. Evaluation of $PM_{2.5}$ decrease in Beijing after emission restrictions in the Beijing-Tianjin-Hebei and surrounding regions[J]. China Environmental Science, 2014, 34(11): 2726–2733.]

[6] 卢爱刚, 刘晖. 基于降水化学的渭南地区城乡大气污染差异探析[J]. 干旱区研究, 2019, 36(2): 505–512. [Lu Aigang, Liu Hui. Investigation of the variation of atmospheric pollutants from chemical composition of precipitation along urban-to-rural transect in Weinan[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(2): 505–512.]

[7] 陈建文, 胡琳, 王娟敏, 等. 陕西省混合层高度变化规律研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 322–326. [Chen Jianwen, Hu Lin, Wang Juanmin, et al. Distribution charateristics of the mixed layer height in Shaanxi Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21 (5): 322–326.]

[8] 胡琳, 张侠, 苏静, 等. 陕西省霾天气变化特征及气候成因分析[J].干旱区地理, 2019, 42(4): 707–714. [Hu Lin, Zhang Xia, Su Jing, et al. Characteristics analysis and climatic forming reasons of haze weather in Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(4): 707–714.]

[9] 赵桂香, 杜莉, 卫丽萍, 等. 一次持续性区域雾霾天气的综合分析[J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 871–878. [Zhao Guixiang, Du Li, Wei Liping, et al. Comprehensive analysis on a durative regional haze and fog[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(5): 871–878.]

[10] 王珊, 廖婷婷, 王莉莉, 等. 西安一次霾重污染过程大气环境特征及气象条件影响分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(11): 3452–3462. [Wang Shan, Liao Tingting, Wang Lili, et al. Atmospheric characteristics of a serious haze episode in Xi'an and the influence of meteorological conditions[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(11): 3452–3462.]

[11] 黄少妮, 袁媛, 井宇, 等. 陕西关中地区冬季一次重霾污染过程及气象条件影响分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 1037–1046. [Huang Shaoni, Yuan Yuan, Jing Yu, et al. Characteristics of a severe haze pollution process in winter and meteorological cause in Guanzhong of Shaanxi[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34 (6): 1037–1046.]

[12] 张人禾, 李强, 张若楠, 等. 2013年1月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44 (1): 27–36. [Zhang Renhe, Li Qiang, Zhang Ruonan, et al. Meteorological conditions for the persistent severe fog and haze event over eastern China in January 2013[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(1): 27–36.]

[13] 王醒, 李莉莉, 王琨, 等. 哈尔滨市一次大气污染过程及潜在源分析[J]. 中国环境科学, 2019, 39(11): 4502–4510. [Wang Xing,

Li Lili, Wang Kun, et al. An air pollution process and potential sources of Harbin[J]. China Environmental Science, 2019, 39(11): 4502-4510.]

[14] 梅梅, 朱蓉, 孙朝阳. 京津冀及周边"2+26"城市秋冬季大气重污染气象条件及其气候特征研究[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(3): 270-281. [Mei Mei, Zhu Rong, Sun Chaoyang. Study on meteorological conditions for heavy air pollution and its climatic characteristics in "2+26" cities around Beijing-Tianjin-Hebei region in autumn and winter[J]. Climate Change Research, 2019, 15(3): 270-281.]

[15] 梅梅, 朱蓉. 污染防治重点区域大气扩散条件变化趋势及成因[J]. 环境影响评价, 2017, 39(5): 1-6. [Mei Mei, Zhu Rong. Variation trend and genesis analysis of atmospheric diffusion conditions in key areas of pollution control[J]. Environmental Impact Assessment, 2017, 39(5): 1-6.]

[16] 杨旭, 张晓玲, 康延臻, 等. 京津冀地区冬半年空气污染天气分型研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(9): 3201-3209. [Yang Xu, Zhang Xiaoling, Kang Yanzhen, et al. Circulation weather type classification for air pollution over the Beijing-Tianjin-Hebei region during winter[J]. China Environmental Science, 2017, 37(9): 3201-3209.]

[17] Zhang Qiang, Li Hongyu. A study of the relationship between air pollutants and inversion in the ABL over the city of Lanzhou[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2011, 28(4): 879-886.

[18] 雷正翠, 郑媛媛, 刘银峰, 等. 2018年常州一次罕见持续性雾-霾天气分析[J]. 气象, 2019, 45(8): 1123-1134. [Lei Zhengcui, Zheng Yuangyuan, Liu Yinfeng, et al. Causes analyses of a severe continuous fog-haze weather process in Changzhou in 2018[J]. Meteorological Monthly, 2019, 45(8): 1123-1134.]

[19] 梁晓宇, 单春艳, 孟瑶, 等. 唐山一次冬季重污染过程污染特征及成因分析[J]. 中国环境科学, 2019, 39(5): 1804-1812. [Liang Xiaoyu, Shan Chunyan, Mengyao, et al. Characteristics and formation mechanism of a heavy winter air pollution event in Tangshan [J]. China Environmental Science, 2019, 39(5): 1804-1812.]

[20] 买买提阿布都拉 •依米尔, 布帕提曼 •艾拜都拉, 陈天宇, 等. 新疆和田绿洲空气质量状况与气象条件的关系[J].干旱区研究, 2020, 37(1): 46-57. [Yimier Maimaitiabuttula, Aibaidoula Bupatiman, Chen Tianyu, et al. Relationship between air quality and meteorological conditions in the Hotan Oasis, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 46-57.]

A conceptual model of regional pollution and meteorological conditions in Guanzhong region

HU Lin[1], CHENG Lu[1], LIN Yang[2], HU Shu-lan[1], HE Xiao-ai[1]

(1. *Climate Center of Shaanxi Province*, *Xi'an* 710014, *Shaanxi*, *China*;
2. *Meteorological Institute of Shaanxi Province*, *Xi'an* 710014, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: Environmental pollution monitoring data and meteorological data from Guanzhong region were examined. We defined the regional heavy pollution and pollution weather processes, selecting 2017 as the representative year, and calculated the atmospheric stability level and mixed layer height using the Pasqual classification method and the national standard method. In addition, we analyzed the characteristics of six meteorological parameters that contribute to regional pollution weather and atmospheric diffusion ability: atmospheric stability, inversion intensity, inversion thickness, wind direction, and wind speed. In Guanzhong region, we found that regional pollution mostly occurs in autumn and winter, and an increasing trend of different strength pollution days from 2014 to 2018 was observed. In addition, when the height of the air mixing layer was ≤300 m, the frequency of the atmosphere stable type was >60%, the accumulated inversion thickness was ≥260 m, and the frequency of calm and light wind was ≥ 55%. The hinterland of Guanzhong appears to be the wind convergence area, which is not conducive to the diffusion and removal of pollutants; on the contrary, severe regional pollution weather was observed in the area.

Keywords: Guanzhong urban agglomeration; regional pollution; meteorological conditions; conceptual model; Shaanxi